

doi: 10.3969/j.issn.1674-0858.2016.05.5

温度、湿度、光照对桔小实蝇飞行能力的影响

袁瑞玲^{1,2}, 杨 珊³, 冯 丹^{1,2}, 王艺璇², 王晓渭³, 陈 鹏^{2*}

(1. 云南省森林植物培育与开发利用重点实验室, 昆明 650201; 2. 云南省林业科学院, 昆明 650201;

3. 西南林业大学, 昆明 650224)

摘要: 本文明确温度、相对湿度和光照强度等3个环境因子变化对桔小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel) 雌、雄成虫飞行能力的影响。在不同温度、相对湿度和光照强度下, 通过室内静风吊飞测试桔小实蝇雌、雄成虫的飞行距离、时间及速度。结果表明, 适宜桔小实蝇飞行的温度范围是 20℃–32℃, 雌虫比雄虫更耐高温; 最适宜飞行的空气相对湿度在 60%–75%; 桔小实蝇雌、雄成虫在有光照的条件下飞行, 在 500–2000 lux 光照强度下飞行能力最强。分析表明, 环境温度、空气相对湿度以及光照强度对桔小实蝇的飞行影响明显。低温或太高温对桔小实蝇飞行不利; 较湿润的空气环境对桔小实蝇飞行有利, 干燥或湿度过大均不利于桔小实蝇的飞行活动; 光刺激是导致桔小实蝇飞行活动的基本条件, 光照强度过弱或过强均不利于桔小实蝇飞行。

关键词: 桔小实蝇; 温度; 相对湿度; 光照强度; 飞行能力; 静风吊飞

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2016) 05-0903-09

Effects of temperature, humidity and light on the flight ability of *Bactrocera dorsalis* (Hendel)

YUAN Rui-Ling^{1,2}, YANG Shan³, FENG Dan^{1,2}, WANG Yi-Xuan², WANG Xiao-Wei³, CHEN Peng^{2*}

(1. Key Laboratory of Forest Plant Cultivation & Utilization, Kunming 650201, China; 2. Yunnan Academy of Forestry, Kunming 650201, China; 3. Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

Abstract: This study aims to clarify the influences of the ecological factors including temperature, relative humidity and light intensity on flight activity of *Bactrocera dorsalis* (Hendel). The flight distance, flight duration and flight speed of *B. dorsalis* under different conditions of temperature, relative humidity and light intensity were assayed and analyzed by tethered flight testing. The results showed that different temperatures, humidities and light intensities could cause different flight activities of *B. dorsalis*. The temperature ranged from 20℃ to 32℃, the relative humidity ranged from 60% to 75% and the light intensity ranged from 500 to 2000 lux were suitable for flight activity of *B. dorsalis*. The females could tolerate higher temperature than the males. Low or too high temperature, dry or extreme humidity, too weak or too strong light intensity was adverse to the flight activities of *B. dorsalis*. The light stimulation was the basic conditions of *B. dorsalis*'s flight activity.

Key words: *Bactrocera dorsalis*; temperature; relative humidity; light intensity; flight ability; calm tethered flight

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31160162, 31660208)

作者简介: 袁瑞玲, 女, 1982年生, 云南寻甸人, 硕士, 助理研究员, 研究方向为森林保护, E-mail: yuan.office@aliyun.com

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: chenpengkunming@aliyun.com

收稿日期 Received: 2016-04-27; 接受日期 Accepted: 2016-06-13

桔小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel) 又名东方实蝇, 俗称果蛆, 属双翅目 *Diptera* 实蝇科 *Tephritida* 果实蝇属 *Bactrocera*, 寄主范围广, 可危害柑橘、番石榴、杨桃、芒果、香蕉、茄子、辣椒、瓜类等 40 多科 250 多种水果和蔬菜, 是一种世界性重要检疫害虫 (Drew and Hancock, 1994; Chen and Ye, 2008; Suganya *et al.*, 2010; Arévalo-Galarza and Follett, 2011)。

已有很多文献报道桔小实蝇有极强的远距离飞行能力, 这是造成其分布和发生区不断扩张, 以及根除后又再次发生的重要原因之一 (陈鹏等, 2007; 李伟丰等, 2007; Shi *et al.*, 2010)。有研究揭示, 桔小实蝇在不借助风力的情况下可以一次性飞行 25 km 以上 (刘建宏和叶辉, 2006)。在云南, 由于特定的地形和气候条件, 每年 5 月, 桔小实蝇将借助气流从北纬 24°以南的区域向北纬 24°以北的区域扩散, 由此导致桔小实蝇在云南北纬 24°以北的区域如昆明、曲靖等地的季节性分布危害 (李红旭等, 2000; 施伟和叶辉, 2004)。桔小实蝇季节性的迁移和扩散除受其内动生理因子调控外, 必然也受到其外部环境因子的影响。温度、湿度、气流及光照等环境条件会对昆虫的飞行能力产生重要的影响, 明确温度、湿度、光照强度等环境条件对昆虫飞行能力的影响对于揭示其迁移 (飞) 的诱导因素、起飞时期以及迁飞层的位置等规律均具有重要意义 (江幸福等, 2002)。

有关环境因子对桔小实蝇飞行行为影响的相关文献较少, 仅见刘建宏和叶辉 (2006) 在云南元江芒果园内通过性诱剂诱捕对桔小实蝇雄虫进行了野外光照、温度和湿度 3 个环境因子对其飞翔活动的影响研究, 结果表明, 桔小实蝇雄成虫仅在白天有光照的情况下进行飞翔活动, 夜晚停止飞翔; 光刺激是桔小实蝇飞翔活动的基本条件, 其趋光性因芒果园内树荫下的光照强度变化而异, 在 100–200 lux 对桔小实蝇飞翔活动明显有利, 而当光照强度低于 100 lux 或高于 200 lux, 飞翔活动也相应减小; 27℃–34℃ 的白天气温总体上位于桔小实蝇雄虫飞翔活动的适宜范围, 而下午相对湿度低于 60% 对其飞翔活动有一定的抑制作用。但该研究仅仅是针对桔小实蝇雄虫 (基于桔小实蝇雄虫诱捕剂)。

本研究团队研究表明, 桔小实蝇雌、雄成虫因性别不同存在能源物质的含量、动用以及能量

代谢的差异 (袁瑞玲等, 2015a; 2015b)。因此, 本文拟通过室内测定温度、湿度、光照 3 个环境因子对桔小实蝇雌、雄成虫飞行能力的影响展开深入分析, 结果有助于揭示桔小实蝇迁移扩散过程中环境因子对其飞行行为发生的影响。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

试验所用虫源为云南省林业科学院森林保护研究所饲养的桔小实蝇试验种群, 经室内连续继代饲养约 10 代的成虫。饲养条件为: 温度 25℃–28℃, 湿度为 60%–80%, 光周期为 L16:D8。同一时期羽化的成虫聚养在同一养虫笼 (75.0 cm × 60.0 cm × 45.0 cm) 内, 每 24 h 补充一次饲料 (豆渣 45.0 g、麦胚 7 g、蔗糖 14 g、酵母粉 7 g、盐酸 0.3 mL、对羟基苯甲酸甲酯 0.3 g 加以适量的蒸馏水配制成糊状饲料, pH3.6, 现配现用) 和饮用水。

1.2 试验条件设置

温度梯度: 利用美的 KFR-32GW/DY-GC (R3) 型空调, 格力 NDY04-21 电热油汀控制温度, 将温度设置为 17℃、20℃、23℃、25℃、28℃、30℃、32℃、35℃ 等 8 个梯度, 湿度 75% 左右。

湿度梯度: 利用科城 JS-38 超声波加湿器将空气湿度控制在 45%、60%、75%、90% 等 4 个梯度, 温度 25℃–28℃。

光照梯度: 光照采用双向可控硅控制器进行调节, 光照强度设置为 100 lux、500 lux、1000 lux、2000 lux、3000 lux 等 5 个梯度, 温度 25℃–28℃, 湿度 75%。

1.3 飞行能力测定

选择最强飞行日龄 15 日龄 (袁瑞玲等, 2014) 的桔小实蝇雌、雄成虫, 用浸有乙醚的棉条轻微麻醉。用 12 通道飞行磨的吊臂的一端直接粘取少量市售 502 胶水, 小心的粘于成虫的前胸背板上, 确认桔小实蝇头胸部、腹部和翅基部未受到影响, 将带有桔小实蝇的吊臂放回飞行磨上待测, 吊臂的另一端与吊虫端需保持水平。飞行磨的吊臂为 12 cm, 试虫完成一圈飞行距离约为 0.754 m。测试时间为每日 8:00 至 21:00, 共计 13 h, 人工干预停止飞行。在桔小实蝇整个飞行过程中不再补充水分和营养。计算机系统自动记录平均累计飞

行距离 (km/头)、平均累计飞行时间 (h/头)、平均飞行速度 (m/s)、平均最快飞行速度 (m/s) 等飞行参数。

以上每处理雌、雄成虫各 12 头, 每处理重复 4 次。

1.4 数据分析处理

所获数据用 SPSS 17.0 统计软件进行方差分析, 对各处理间方差进行齐性 Levene 检验, 各组方差齐时 ($P > 0.05$) 或组间方差不能达到齐性, 但对数据进行转换后, 组间方差齐时, 经正态检验后, 用 Duncan 氏新复极差法进行多重比较; 组间方差经数据转换后仍不齐时 ($P < 0.05$), 采用 Games-Howell 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 温度对桔小实蝇成虫飞行能力的影响

不同温度下桔小实蝇成虫的平均飞行距离、平均飞行时间、平均飞行速度和平均最大飞行速度不同。

2.1.1 不同温度下桔小实蝇成虫的平均飞行距离

桔小实蝇雌虫的平均飞行距离在 17℃ 时为 0.44 km, 随温度的增高而增加, 到 23℃ 时达较高水平, 30℃ 时最高, 为 2.15 km, 之后随着温度的

进一步增高而逐渐下降, 在 35℃ 时为 0.18 km。方差分析结果表明, 17℃ 和 35℃ 时的飞行距离差异不明显 ($P > 0.05$), 均显著低于其他温度下的飞行距离 ($P < 0.05$); 其他温度除 30℃ 处理外, 差异不显著 ($P > 0.05$) (图 1)。

桔小实蝇雄虫的平均飞行距离在 17℃ - 23℃ 时较低, 差异不显著 ($P > 0.05$), 随温度的增高而增加, 到 28℃ 时达最高, 为 2.21 km, 显著高于 25℃ 和 30℃ 之外其他温度下的飞行距离, 之后随温度的进一步增高而逐渐下降, 35℃ 时雄虫几乎不飞行 (图 1)。

2.1.2 不同温度下桔小实蝇成虫的平均飞行时间

桔小实蝇雌虫在 17℃ 和 35℃ 下的平均飞行时间最短, 分别为 0.24 h 和 0.31 h, 与 20℃ 以外的其他温度下的平均飞行时间差异显著 ($P < 0.05$), 23℃ - 32℃ 下的平均飞行时间无明显差异, 在 23℃ 时最长, 达 1.42 h (图 2)。

桔小实蝇雄虫的平均飞行时间随温度的增高而延长, 17℃ 为 0.43 h, 28℃ - 30℃ 时达最长, 为 1.56 h, 之后随温度的进一步增高而显著下降, 35℃ 时雄虫几乎不飞行。方差分析结果表明, 雄虫的平均飞行时间在 17℃ - 23℃ 及 35℃ 下显著短于 28℃ - 30℃ ($P < 0.05$), 在 25℃ - 32℃ 下无明显差异 (图 2)。

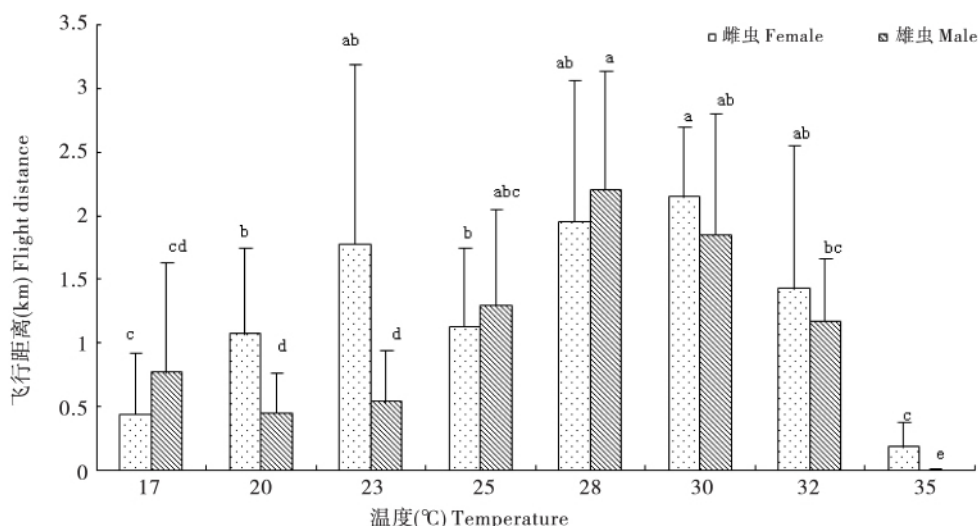


图 1 不同温度下桔小实蝇的飞行距离

Fig. 1 Flight distance of *Bactrocera dorsalis* at different temperatures

注: 图中误差线为标准差。同一性别间小写字母表示在 5% 水平差异显著性, 下同。Note: Error bars are standard deviations. The different small letters at the same sex are significantly different at 5% level. The same below.

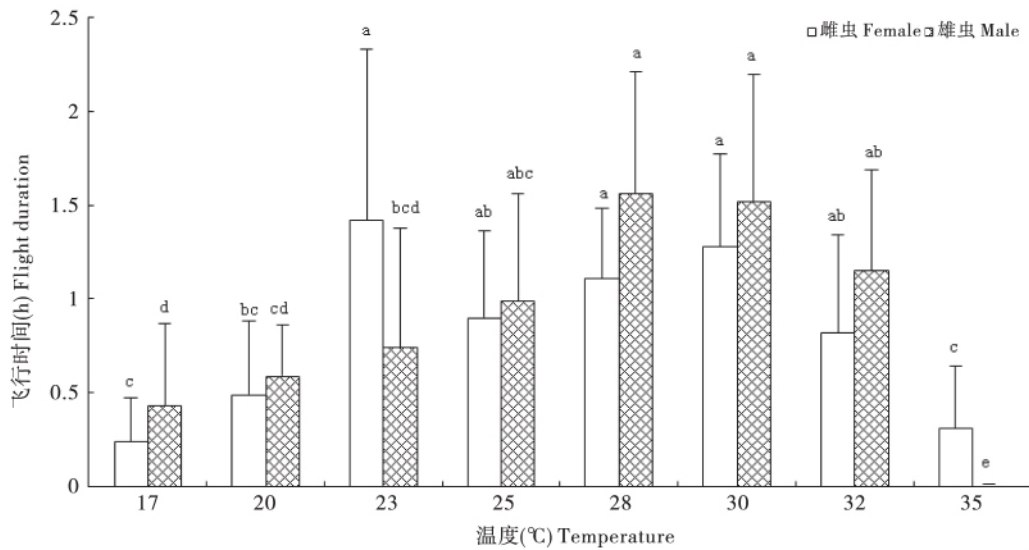


图2 不同温度下桔小实蝇的飞行时间

Fig. 2 Flight duration of *Bactrocera dorsalis* at different temperatures

2.1.3 不同温度下桔小实蝇成虫的飞行速度

桔小实蝇雌虫的平均飞行速度及平均最大飞行速度随温度的增高而增加，在 17℃ 时分别为 0.16 m/s 和 0.31 m/s，30℃ 时达最高，分别为 0.54 m/s 和 1.24 m/s，之后随温度的进一步增高而降低。方差分析结果表明，桔小实蝇雌虫在 17℃、20℃ - 25℃、28℃ - 30℃ 下的平均飞行速度存在显著差异 ($P < 0.05$)，20℃ - 25℃ 与 32℃ - 35℃ 下的平均飞行速度无明显差异 ($P > 0.05$)。平均最大飞行速度与平均飞行速度差异相似

(表 1)。

桔小实蝇雄虫不同温度下的平均飞行速度及平均最大飞行速度变化趋势与雌虫相似，也是随温度的增高而增加，在 25℃ 时达较高值，至 30℃ 时最高，分别为 0.44 m/s 和 1.12 m/s，之后随温度的进一步增高而降低。方差分析结果表明，桔小实蝇雄虫在 17℃ - 23℃、25℃ - 30℃ 下的平均飞行速度存在显著差异 ($P < 0.05$)，23℃、32℃ 和 35℃ 下差异不明显。平均最大飞行速度在 20℃ - 28℃ 和 32℃ 间差异不明显 ($P > 0.05$)，其它温度间差异显著 ($P < 0.05$) (见表 1)。

表 1 不同温度下桔小实蝇的飞行速度

Table 1 Flight speed of *Bactrocera dorsalis* at different temperatures

温度 (°C) Temperature	平均飞行速度 (m/s) Average flight speed		平均最大飞行速度 (m/s) Maximums flight speed	
	♀	♂	♀	♂
17	0.16 ± 0.01 d	0.18 ± 0.03 c	0.31 ± 0.09 f	0.27 ± 0.10 d
20	0.29 ± 0.08 c	0.19 ± 0.04 c	0.58 ± 0.15 de	0.58 ± 0.29 b
23	0.28 ± 0.12 c	0.21 ± 0.03 bc	0.55 ± 0.22 e	0.59 ± 0.20 b
25	0.32 ± 0.08 c	0.37 ± 0.10 a	0.87 ± 0.38 bcd	0.85 ± 0.23 ab
28	0.50 ± 0.18 ab	0.39 ± 0.11 a	1.23 ± 0.58 ab	1.06 ± 0.51 ab
30	0.54 ± 0.10 a	0.44 ± 0.12 a	1.24 ± 0.40 a	1.12 ± 0.52 a
32	0.37 ± 0.17 bc	0.31 ± 0.14 ab	0.89 ± 0.26 bc	0.93 ± 0.53 ab
35	0.31 ± 0.16 c	0.22 ± 0.06 bc	0.60 ± 0.34 cde	0.43 ± 0.17 c

注：所有数据表示为平均数 ± 标准差。同一性别间不同小写字母表示在 5% 水平的差异显著性，下同。Note: Data are presented as means ± SD. Means followed by different small letters at the same rows are significantly different at 5% level. The same below.

2.2 湿度对桔小实蝇成虫飞行能力的影响

2.2.1 不同湿度下桔小实蝇成虫的平均飞行距离

雌、雄虫平均飞行距离随相对湿度的提高而增加, RH45% 下平均飞行距离最短, 显著短于 ($P < 0.05$) 其他湿度的, RH75% 飞行距离达最大, 分别为 1.13 km 和 1.30 km, 但当湿度提高到 RH90% 后, 雌虫的平均飞行距离显著下降 ($P < 0.05$), 雄虫则是虽有降低但与 RH75% 差异不明显 ($P > 0.05$) (图 3)。

2.2.2 不同湿度下桔小实蝇成虫的平均飞行时间

不同湿度下的平均飞行时间与平均飞行距离相似, 随相对湿度的提高而增加 (图 4)。雌虫在 RH60% 下平均飞行时间最长, 达 0.9 h, 雄虫在 RH75% 下平均飞行时间最长, 达 1.52 h, 但当湿度提高到 RH90% 后, 桔小实蝇雌、雄虫平均飞行时间显著下降。方差分析结果表明, 雌虫的平均

飞行时间在 RH45% 与 90% 之间, RH60% 与 75% 差异不显著 ($P > 0.05$), 后者显著高于前者 ($P < 0.05$); 雄虫的平均飞行时间在不同湿度下差异显著 ($P < 0.05$)。

2.2.3 不同湿度下桔小实蝇成虫的飞行速度

桔小实蝇成虫在 RH45% 下飞行最慢, 随着相对湿度的提高平均飞行速度及平均最大飞行速度增加, 在 RH60% 下飞行速度明显提高 ($P < 0.05$), 湿度增至 RH75% 桔小实蝇成虫飞的最快, 雌、雄虫平均速度达 0.37 m/s, 平均最大飞行速度雌虫达 0.89 m/s, 雄虫达 0.93 m/s; 当湿度提高到 RH90% 后, 雌虫的平均飞行速度略有降低, 但差异不明显 ($P > 0.05$); 平均最大飞行速度显著降低 ($P < 0.05$)。雄虫则表现为均显著降低 ($P < 0.05$) (表 2)。

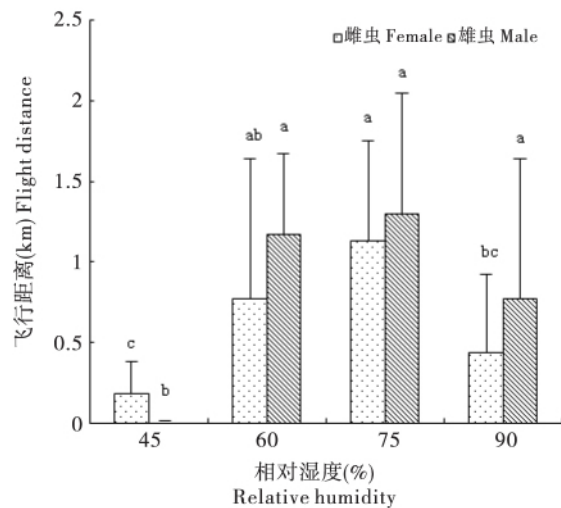


图 3 不同湿度下桔小实蝇的飞行距离
Fig. 3 Flight distance of *Bactrocera dorsalis* at different humidities

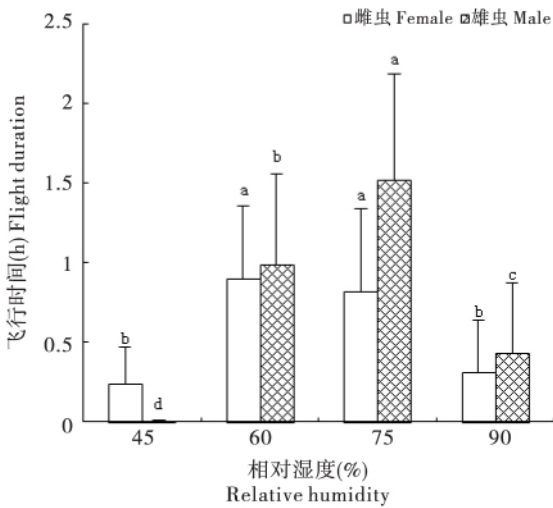


图 4 不同湿度下桔小实蝇的飞行时间
Fig. 4 Flight duration of *Bactrocera dorsalis* at different humidities

表 2 不同湿度下桔小实蝇的飞行速度
Table 2 Flight speed of *Bactrocera dorsalis* at different humidities

相对湿度 (%)	平均飞行速度 (m/s)		平均最大飞行速度 (m/s)	
Relative humidity	♀	♂	♀	♂
45	0.16 ± 0.01 b	0.18 ± 0.03 b	0.31 ± 0.09 c	0.27 ± 0.10 c
60	0.32 ± 0.08 a	0.31 ± 0.14 a	0.87 ± 0.38 ab	0.85 ± 0.23 a
75	0.37 ± 0.17 a	0.37 ± 0.10 a	0.89 ± 0.26 a	0.93 ± 0.53 a
90	0.31 ± 0.16 a	0.22 ± 0.06 b	0.60 ± 0.34 b	0.43 ± 0.17 b

2.3 光照强度对桔小实蝇成虫飞行能力的影响

2.3.1 不同光照强度下桔小实蝇成虫的平均飞行距离

雌虫在 500 – 2000 lux，雄虫在 500 – 1000 lux 光照强度下平均飞行距离最大，分别达到 2.1 km 和 2.21 km，低于或高于此光照强度，雌、雄虫的平均飞行距离显著下降 ($P < 0.05$) (图 5)。

2.3.2 不同光照强度下桔小实蝇成虫的平均飞行时间

桔小实蝇雌、雄虫在 500 – 2000 lux 光照强度下平均飞行时间最长 (图 6)，雌虫达到 1.2 h，雄虫达到 1.29 h，低于或高于此光照强度，平均飞行时间显著下降 ($P < 0.05$)。

2.3.3 不同光照强度下桔小实蝇成虫的飞行速度

光照强度低至 100 lux 时，桔小实蝇成虫飞行速度最慢，平均飞行速度及平均最大飞行速度均显著低于其他光照强度 ($P < 0.05$)。其他光照强度下，雌虫的平均最大飞行速度，雄虫的平均飞行速度无明显差异 ($P > 0.05$)；雌虫的平均飞行速度在光照强度增加到 500 lux 时达最大，为 0.5 m/s，之后，随着光照强度的增加而降低，且光照强度达 2000 lux 及以上时平均飞行速度比在 500 lux 时明显下降 ($P < 0.05$)；雄虫的平均最大飞行速度在 500 – 2000 lux 下最大，达 1.28 m/s，显著大于 3000 lux 的飞行速度 (表 3)。

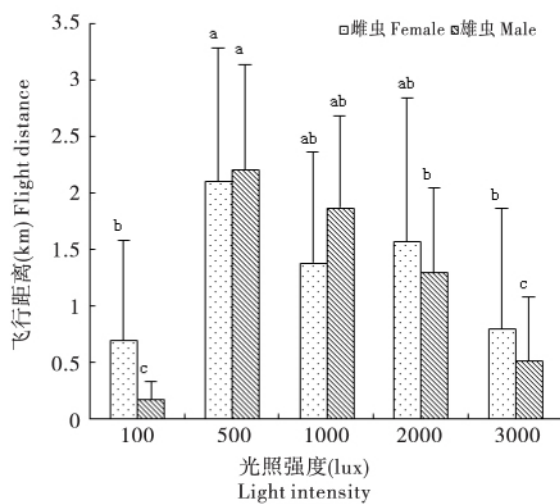


图 5 不同光照强度下桔小实蝇的飞行距离

Fig. 5 Flight distance of *Bactrocera dorsalis* at different light intensity

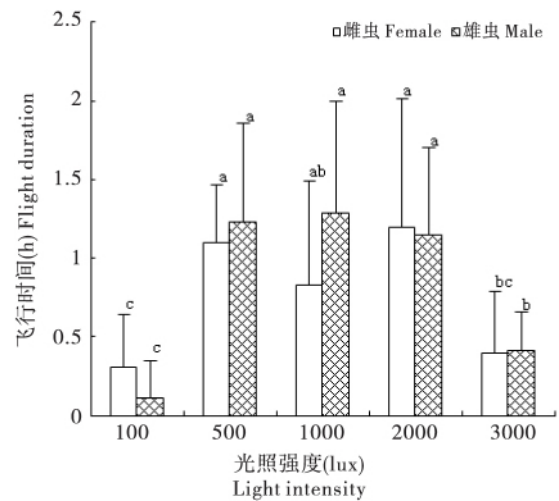


图 6 不同光照强度下桔小实蝇的飞行时间

Fig. 6 Flight duration of *Bactrocera dorsalis* at different light intensity

表 3 不同光照下桔小实蝇的飞行速度

Table 3 Flight speed of *Bactrocera dorsalis* at different light intensity

光照强度 (lux) Light intensity	平均飞行速度 (m/s) Average flight speed		平均最大飞行速度 (m/s) Maximums flight speed	
	♀	♂	♀	♂
100	0.16 ± 0.01 c	0.18 ± 0.03 b	0.31 ± 0.09 b	0.29 ± 0.10 c
500	0.50 ± 0.18 a	0.39 ± 0.10 a	1.31 ± 0.52 a	1.01 ± 0.52 a
1000	0.42 ± 0.19 ab	0.48 ± 0.27 a	1.01 ± 0.52 a	1.28 ± 0.56 a
2000	0.32 ± 0.08 b	0.37 ± 0.10 a	1.33 ± 0.60 a	0.93 ± 0.24 a
3000	0.30 ± 0.13 b	0.34 ± 0.14 a	0.99 ± 0.36 a	0.49 ± 0.22 b

3 结论与讨论

研究表明，桔小实蝇最佳飞行能力的发挥

取决于所处的环境条件，试验中环境温度、空气相对湿度以及光照强度对桔小实蝇的飞行都有明显的影响。实验室内最适宜桔小实蝇飞行的温度范围是：20℃ – 32℃，空气湿度是：60% – 75%，

光照强度是: 500 – 2000 lux。

桔小实蝇雌、雄虫在试验温度范围内, 除雄虫在 35℃ 高温条件下几乎不飞行外, 都能正常飞行, 但温度低于 20℃ 或高于 32℃ 桔小实蝇飞行能力明显下降, 说明适宜桔小实蝇飞行的温度范围是 20℃ – 32℃, 低温或太高温对其飞行不利, 这与桔小实蝇生物学特性研究结果一致, 桔小实蝇的卵、幼虫、蛹和成虫的发育主要受温度的影响, 桔小实蝇生长的适宜温度为 25℃ – 28℃ (袁盛勇等, 2003; 孔令斌等, 2008), 当低于 15℃ 或高于 33℃ 时, 卵、幼虫和蛹的死亡率均显著增加 (蒋小龙等, 2001; 和万忠等, 2002)。本研究表明雌虫比雄虫更耐高温, 这可能是桔小实蝇的一种生存和繁衍策略: 因为桔小实蝇雌成虫要为下一代种群繁衍寻找更适宜的寄主, 为下一代种群生存寻找更适宜的环境, 需要耐受更苛刻的环境条件, 进行更远距离的飞行。我们的前期研究已发现, 桔小实蝇飞行行为的差异与其雌、雄虫能量代谢的特点不同有关, 飞行过程中, 雄虫进行有氧代谢和一定程度的无氧代谢, 而雌虫只进行有氧代谢。有氧代谢的特点是强度低、有节奏、不中断, 持续时间长, 而且方便易行, 容易坚持, 雌虫的能量代谢特点更有利于其在有限的能源供给和高温条件下进行更远距离的飞行; 桔小实蝇雌成虫的平均累计飞行距离明显大于雄虫 (♀ 3.57 km; ♂ 3.26 km), 体现了桔小实蝇雌成虫飞行只进行有氧代谢的优势。无氧代谢是肌肉剧烈运动时氧供应满足不了需要, 肌肉即利用三磷酸腺苷 (ATP)、磷酸肌酸 (CP) 的无氧分解和糖的无氧酵解生成乳酸, 释放出能量, 再合成三磷酸腺苷供给肌肉需要的一种代谢过程。桔小实蝇雄成虫不仅需要具备远程飞行能力, 以获取寄主和适宜的生存环境, 同时雄虫与雌虫之间, 在获取与雌虫的交配权方面, 存在强烈的竞争关系, 具备无氧代谢能力, 使桔小实蝇雄虫具备了有别于雌虫的飞行爆发能力, 有利于雄成虫寻找到中意的雌虫, 以获得交配的主动权 (袁瑞玲等, 2015b)。

本室内试验表明, 雌、雄虫最适宜飞行的空气相对湿度在 60% – 75%, 平均累计飞行距离、飞行时间、飞行速度最大。此结论与野外相关研究结果一致: Andrei 等 (2001) 指出, 桔小实蝇适于在空气相对湿度为 60% – 80% 的范围内活动, 当空气湿度高于或低于该湿度范围时对桔小实蝇不利。刘建宏等 (2006) 将试验地云南元江地区

芒果园的空气相对湿度的日变化与桔小实蝇飞翔活动的日节律加以比较发现, 桔小实蝇白天飞翔活动的低谷 (14:00 – 16:00) 正好与空气相对湿度最低值 (RH < 60%) 出现的时间相吻合, 说明空气相对湿度可能是导致桔小实蝇在下午 14:00 – 16:00 期间飞翔活动不甚活跃的重要因素 (芒果园此时的温度也是全天的最高, 但 35℃ 的气温对桔小实蝇的飞翔活动没有抑制作用, 气温不是导致桔小实蝇在白天形成飞翔活动明显变化的主要因素。本文研究结果: 雄虫在 35℃ 高温条件下几乎不飞行与前面研究结果不符)。黄居昌等 (2011) 发现桔小实蝇在相对湿度大于 60% 时飞翔活动最为活跃, 诱捕虫数与相对湿度间的相关系数为 0.637, 有一定的相关性, 且发现降雨后, 桔小实蝇的活动明显增强。陈鹏等 (2006) 通过对云南瑞丽地区桔小实蝇种群数量变化的影响研究发现, 在 2 – 5 月份桔小实蝇种群数量增长与降雨天数和降雨量有关; 7 – 8 月份持续的强降雨过程导致桔小实蝇在该时期种群数量下降。本研究中, 空气相对湿度大于等于 90% 不利于桔小实蝇成虫飞行, 此结果与上述研究结果相符。野外观察发现, 桔小实蝇在果园水沟旁活动频繁, 而在无流水或灌溉的地方活动较少, 综上所述, 较湿润的空气环境对桔小实蝇有利, 干燥或湿度过大均不利于桔小实蝇的飞行活动。

周昌清等 (1995) 研究发现, 中长光照对桔小实蝇的种群增殖稍为有利。刘建宏等 (2006) 观察云南元江地区芒果园光照对桔小实蝇飞翔活动的影响, 结果表明桔小实蝇雄成虫仅在白天有光照的情况下进行飞翔活动, 夜晚停止飞翔; 桔小实蝇在 1 日内有 2 个飞翔活动高峰期, 主要是由光照强度所影响的。本室内试验研究表明, 桔小实蝇成虫在有光照的条件下飞翔, 黑暗条件下不飞翔, 飞行的速度、时间、距离因光照强度变化而异, 但在弱光照强度 100 lux 下均最小。雌虫的平均最大飞行速度, 雄虫的平均飞行速度在 100 lux 以外的其他光照强度下无明显差异; 雌、雄虫在 500 – 2000 lux 光照强度下平均飞行距离、时间最长, 低于或高于此光照强度, 平均飞行距离、时间显著下降; 验证了光刺激是导致桔小实蝇飞翔活动的基本条件, 光照强度过弱或过强均不利于桔小实蝇飞行。

桔小实蝇具有较强的自主扩散迁移能力, 能借助山形地势和气流进行远距离迁移 (陈鹏等,

2007)。在中国云南高山深谷等自然地理条件下,桔小实蝇具有季节性和常年分布特征,该地区的桔小实蝇既有长期入侵的踪迹,又具有短期扩散迁移的特征,这主要是由该地区特定地理和气候条件所决定,环境的温度、湿度、光照等条件无疑驱使或限制了桔小实蝇的扩散迁移。在云南桔小实蝇的扩散迁移发生于5-7月(陈鹏等,2007),如元江至昆明的滇中地区、怒江坝至六库河谷地区,此时环境温度在22℃-30℃,湿度在60%-80%,晴天多,这些条件与本试验结果桔小实蝇适飞条件一致。由此可见,本文研究结果对于揭示桔小实蝇扩散迁移的发生机制具有一定的科学参考价值。

参考文献 (References)

- Andrei VA, Christian M, Russell HMJ. Dim selection of pupation habitats by oriental fruit fly larvae in the laboratory [J]. *Journal of Insect Behavior*, 2001, 14 (1): 57-67.
- Arévalo - Galarza L, Follett PA. Response of *ceratitis capitata*, *Bactrocera dorsalis*, and *Bactrocera cucurbitae* (Diptera: Tephritidae) to metabolic stress disinfection and disinfestation treatment [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2011, 104 (1): 75-80.
- Chen P, Ye H, Liu JH. Population dynamics of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) along with analysis on the factors influencing the population in Ruili, Yunnan Province [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26 (9): 2801-2809. [陈鹏, 叶辉, 刘建宏. 云南瑞丽桔小实蝇成虫种群数量变动及其影响因素分析[J]. 生态学报, 2006, 26 (9): 2801-2809]
- Chen P, Ye H, Mu QA. Migration and dispersal of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* in regions of Nujiang river based on fluorescence mark [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27 (6): 2468-2476. [陈鹏, 叶辉, 母其爱. 基于荧光标记的怒江流域桔小实蝇 (*Bactrocera dorsalis*) 的迁移扩散[J]. 生态学报, 2007, 27 (6): 2468-2476]
- Chen P, Ye H. Relationship among five populations of *Bactrocera dorsalis* based on mitochondrial DNA sequences in western Yunnan, China [J]. *Journal of Applied Entomology*, 2008, 132 (7): 530-537.
- DrewRAI, Hancock DL. The *Bactrocera dorsalis* complex of fruit flies (Diptera: Tephritidae: Dacinae) in Asia [J]. *Bulletin of Entomological Research*, 1994, Supplement 2: 1-68.
- He WZ, Sun BZ, Li CJ, et al. Bionomics of *Bactrocera dorsalis* and its control in Hekou County of Yunna Province [J]. *Entomological Knowledge*, 2002, 39 (1): 50-52. [和万忠, 孙兵召, 李翠菊, 等. 云南河口县桔小实蝇生物学特性及防治[J]. 昆虫知识, 2002, 39 (1): 50-52]
- Huang JC, Zheng SN, Ye GL, et al. The effect of different seasons and meteorological factors on the daily flight activity rhythm of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2011, 32 (10): 1926-1930. [黄居昌, 郑思宁, 叶光禄, 等. 不同季节与气象因素对橘小实蝇日飞翔活动节律的影响[J]. 热带作物学报, 2011, 32 (10): 1926-1930]
- Jiang XL, He WZ, Xiao S, et al. Study on the biology and survival of *Bactrocera dorsalis* in the border region of Yunnan [J]. *Journal of Southwest Agricultural University*, 2001, 23 (6): 510-517. [蒋小龙, 和万忠, 肖枢, 等. 桔小实蝇在云南边境生物学研究及适生性分析[J]. 西南农业大学学报, 2001, 23 (6): 510-517]
- Jiang XF, Luo LZ, Li KB, et al. Influence of temperature on flight capacity of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2002, 45 (2): 275-278. [江幸福, 罗礼智, 李克斌, 等. 温度对甜菜夜蛾飞行能力的影响[J]. 昆虫学报, 2002, 45 (2): 275-278]
- Kong LB, Lin W, Li ZH, et al. Effects of climatic factors on the growth and geographical distribution of oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2008, 45 (4): 528-531. [孔令斌, 林伟, 李志红, 等. 气候因子对橘小实蝇生长发育及地理分布的影响[J]. 昆虫知识, 2008, 45 (4): 528-531]
- Li HX, Ye H, Lv J. On damages and distributions of fruit fly (*Bactrocera dorsalis* Hendel) in Yunnan Province, southern China [J]. *Journal of Yunnan University (Natural Sciences)*, 2000, 22 (6): 473-475. [李红旭, 叶辉, 吕军. 桔小实蝇在云南的危害与分布[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2000, 22 (6): 473-475]
- Liu JH, Ye H. Effects of light, temperature and humidity on the flight activities of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2006, 43 (2): 211-214. [刘建宏, 叶辉. 光照、温度和湿度对桔小实蝇飞翔活动的影响[J]. 昆虫知识, 2006, 43 (2): 211-214]
- Li WF, Yang L, Tang K, et al. Microsatellite polymorphism of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) populations in China [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2007, 50 (12): 1255-1262. [李伟丰, 杨朗, 唐侃, 等. 中国桔小实蝇种群的微卫星多态性分析[J]. 昆虫学报, 2007, 50 (12): 1255-1262]
- Shi W, Ye H. Genetic differentiation in five geographic populations of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae) in Yunnan Province [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2004, 47 (3): 384-388. [施伟, 叶辉. 云南桔小实蝇五个地理种群的遗传分化研究[J]. 昆虫学报, 2004, 47 (3): 384-388]
- Shi W, Kerdellhué C, Ye H. Population genetic structure of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae) from Yunnan Province (China) and nearby sites across the border [J]. *Genetica*, 2010, 138 (3): 377-385.
- Suganya, R, Chen SL, Lu KH. Target of rapamycin in the oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* (Hendel): Its cloning and effect on yolk protein expression [J]. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 2010, 75: 45-56.
- Yuan SY, Xiao C, Li ZY, et al. A Study on laboratory rearing

- techniques for *Bactrocera dorsalis* (Hendal) [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2003, 25 (4): 577 – 580. [袁盛勇, 肖春, 李正跃, 等. 桔小实蝇实验室饲养技术研究[J]. 江西农业大学学报, 2003, 25 (4): 577 – 580]
- Yuan RL, Yang S, Wang XW, et al. Test on flight ability of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) [J]. *Journal of West China Forestry Science*, 2014, 43 (6): 66 – 71. [袁瑞玲, 杨珊, 王晓渭, 等. 桔小实蝇飞行能力测试[J]. 西部林业科学, 2014, 43 (6): 66 – 71]
- Yuan RL, Yang S, Wang XW, et al. Body weight fluctuations and glycogen reserve and utilization of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in its flight processes [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015a, 37 (2): 313 – 319. [袁瑞玲, 杨珊, 王晓渭, 等. 桔小实蝇体重和糖原的积累及其飞行消耗[J]. 环境昆虫学报, 2015a, 37 (2): 313 – 319]
- Yuan RL, Wang XW, Yang S, et al. Changes in the activities of enzymes related to energy metabolism in flight muscles of adult *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) at different ages and during tethered flight [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2015b, 58 (5): 471 – 478. [袁瑞玲, 王晓渭, 杨珊, 等. 不同日龄和吊飞过程中桔小实蝇成虫飞行肌能量代谢相关酶活性的变化[J]. 昆虫学报, 2015b, 58 (5): 471 – 478]
- Zhou CQ, Chen HD, Lin PQ. Comparison of the impact of temperature, humidity and photoperiod on the population reproductivity of three fruit flies [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 1995, 34 (1): 68 – 75. [周昌清, 陈海东, 林佩卿. 光温湿因子对三种果实蝇种群生存力影响的比较研究[J]. 中山大学学报 (自然科学版), 1995, 34 (1): 68 – 75]